



Uso de Simuladores no Ensino de Física: Um estudo da produção Gestual de Estudantes Universitários

**Agostinho Serrano, Universidade Luterana do Brasil (ULBRA),
asandraden@gmail.com**

Vivian Engel, Universidade Luterana do Brasil (ULBRA)

RESUMO

Neste artigo, discutimos a produção gestual, especialmente de gestos descritivos, utilizados por estudantes universitários com dois diferentes simuladores: Uma simulação conceitual no campo da Mecânica Clássica e um laboratório virtual no campo da Mecânica Quântica. A análise gestual é feita das entrevistas gravadas em vídeo, que foram realizadas após o uso do software pelos estudantes. Gestos descritivos foram catalogados e indicam processos imagísticos que, segundo nossa interpretação dos resultados, são o resultado da assimilação de representações computacionais utilizadas. Este processo de assimilação pode ser compreendido utilizando-se o referencial de campos conceituais de Gerard Vergnaud e pode explicar um dos processos cognitivos importantes que culminam no aprendizado mediado por computador.

Palavras-chave: Gestos descritivos, Simulações Computacionais, Ensino de Física, Teoria de Campos Conceituais, Teoria da Carga Cognitiva.

ABSTRACT

In this paper, we discuss the gestural production, especially of depictive gestures, used by college students with two different simulators: One conceptual simulation in the field of Classical Mechanics and one virtual Laboratory in the field of Quantum Mechanics. The gestural analysis is done off the the video-recorded interviews, that were taken after the software usage by the students. Depictive gestures were catalogued and indicate imagistic processes, according to our interpretation of the results, which are the outcome of the assimilation of computer representations used. This assimilation process can be understood using the referential of conceptual fields of Gerard Vergnaud and can explain one of the important cognitive processes that result in learning mediated by computers.

Keywords: Descriptive gesture, Computer simulations, Physics teaching, Theory of conceptual fields, theory of the cognitive charge.

INTRODUÇÃO

A investigação do aprendizado de conceitos científicos com o auxílio de computadores se revelou um desafio perseguido por pesquisadores da área de Ensino de Ciências e Matemática há décadas. Muito tem se dito, observado, e publicado dos efeitos, em geral benéficos, do uso em especial de simulações computacionais. Estas simulações didáticas foram, progressivamente, sendo programadas fazendo uso de representações manipuladas por cientistas na descrição dos seus modelos, como vetores em física ou ligações químicas. A utilização destas representações enriquece o modelo simulado e facilita o aprendizado dos conceitos científicos abordados na simulação (DOERR, 1997). No ensino de física, por exemplo, representações múltiplas como vetores, gráficos, tabelas, animações, etc., multiplamente conectadas para representar um fenômeno pode influenciar positivamente o aprendizado (DE JONG et al., 1999;

DOERR, 1997). Em química, o uso de múltiplas representações é considerado de grande importância para o ensino de química (KOZMA et al., 1997; NOH et al., 1997; WU et al., 2001) e o uso de diferentes níveis de representação de um fenômeno químico (macroscópico, microscópico e simbólico) (GABEL, 1998; JOHNSTONE, 1993) é considerado um elemento-chave no aprendizado. Estas simulações são, em geral, chamadas de simulações conceituais. Doerr (1997) define o que chama de ‘laboratórios virtuais’, onde experimentos físicos podem ser simulados em um ambiente muito semelhante ao encontrado em laboratório, e em geral representações científicas advindas de modelos teóricos não são utilizados, preservando-se o ambiente real do experimento, quando simulado.

De uma forma geral, os computadores podem ser descritos como apresentando ao estudante, em uma aplicação didática, representações gráficas animadas que de alguma forma parecem auxiliar o aprendizado de conceitos em áreas como as ciências. Estas representações gráficas externas podem, então, serem internalizadas durante o processo de aprendizado. Uma das perguntas que nos fizemos durante a execução deste trabalho é se as representações presentes em simulações conceituais são internalizadas mais facilmente que aquelas trabalhadas pelo professor durante a utilização de experimentos virtuais (que, conforme conceitualizado anteriormente, raramente apresentam, dentro do ambiente virtual, representações científicas dos conceitos trabalhados, restringindo-se apenas a representar fidedignamente o ambiente experimental do fenômeno apresentado).

Como referencial teórico deste trabalho, escolhemos a teoria de Campos Conceituais de Gerard Vergnaud (1981, 1993). Aqui iremos apenas realizar uma exposição sucinta de aspectos da teoria. Esta teoria diz que para estudar e compreender como os conceitos evoluem na mente de um sujeito, por meio de suas experiências, é preciso considerar o conceito (C) como uma terna de conjuntos, ou seja, $C = (S, I, R)$, onde:

- **S** é o conjunto de situações que dão significado e utilidade ao conceito;
- **I** é o conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito (objetos, propriedades e relações), que podem ser reconhecidas e usadas pelos sujeitos, de forma a analisar e dominar aquelas situações;
- **R** é o conjunto de significantes, isto é, a representação simbólica, lingüística, gráfica ou gestual, que podem ser utilizadas para representar aqueles invariantes, e, desta forma, representar as situações e os procedimentos para lidar com eles.

Em termos psicológicos, o autor explicita que S, o referente, é a realidade; e I e R representam os dois aspectos integrantes do pensamento, o significado (I) e o significante (R).

É fundamental considerar esses três conjuntos simultaneamente – situações, invariantes operatórios e representações simbólicas – ao longo da aprendizagem, para estudar o desenvolvimento e o uso de um conceito (VERGNAUD, 1981).

Outro aporte teórico utilizado é a Teoria da Carga Cognitiva (SWELLER, 1988), que considera, também de forma resumida, que temos uma memória de trabalho finita e que qualquer processo que permita a automatização de esquemas utilizados no aprendizado de algum conceito ou processo, “libera” memória de trabalho para que se possa utilizar em outras tarefas cognitivas, na direção do aprendizado.

Como não temos acesso às representações externas dos estudantes é necessário “desenvolver uma visão mais clara do conjunto de conceitos definidos para que

possamos entender melhor estes processos de raciocínio não-formal” (STEPHENS; CLEMENT, 2010).

Definição do Problema e Metodologia de Pesquisa

O objetivo central deste artigo é estudar o crescimento conceitual de estudantes durante o uso de simulações conceituais. No entanto, o que distingue este artigo de tantos outros escritos com a mesma temática é que este estudo do crescimento conceitual se dará prioritariamente pela análise daquele recorte experimental composto por gestos descritivos (uma forma de linguagem não-verbal), bem como a interação destes gestos com o discurso verbal do estudante. Chamamos de crescimento conceitual a progressão do estudante dentro de um campo conceitual específico, assim como definido por Gerard Vergnaud.

Esta análise será realizada por meio de entrevistas filmadas realizadas em estudantes que acabaram de utilizar simulação computacionais: A primeira, uma simulação conceitual em Mecânica Clássica, e a segunda uma outra simulação, neste caso um laboratório virtual de aprendizagem de Mecânica Quântica. Mais especificamente, no primeiro experimento, em Mecânica Clássica, utilizamos duas simulações desenvolvidas dentro da plataforma modellus 4.01¹. A primeira simulação consiste em um sistema massa-mola oscilante na horizontal. Este sistema já foi encontrado codificado pelos autores na sessão de exemplos do modellus, contudo com outro foco didático. Os autores modificaram, portanto, a simulação para apresentar a energia potencial e energia cinética como gráficos de barras, além dos vetores velocidade e aceleração (Vide figura 1, esquerda). A segunda simulação foi originalmente concebida em outro trabalho (REIS & SERRANO, 2004) e adaptada para esta versão do modellus (Vide figura 1, direita).

Já no segundo experimento, foram utilizados também duas simulações: O laboratório virtual de Mach-Zender (Albert Huber, 2004) e o laboratório virtual de interferência para corpúsculos clássicos, ondas clássicas e objetos quânticos(elétrons).

Tanto o primeiro como o segundo experimento consistiram, portanto, na aplicação de pré e pós-testes, duas simulações computacionais e entrevistas individuais, conforme descrito abaixo. Para o primeiro experimento um total de 6 estudantes fizeram todas as etapas de investigação e, portanto, foram os considerados na análise. Todos os estudantes fazem cursos de graduação em engenharia e ciências exatas, em uma universidade privada de Canoas, RS, Brasil, que estaremos descrevendo neste trabalho.

Já no segundo experimento, um total de 4 estudantes fizeram todas as etapas, incluindo um estudante de ensino médio. Os estudantes fizeram um curso de introdução à mecânica quântica, aberto a estudantes da universidade e à comunidade em geral.

Para ambos os experimentos, o design experimental é semelhante: Os estudantes realizaram pré e pós-testes individuais. Em nenhum momento estes testes constituíram avaliação da disciplina, e os alunos estavam cientes disso. A etapa experimental foi realizada em dupla/trio, com auxílio de um¹ guia de simulação específico para cada experimento. Após estas etapas foi realizada uma entrevista individual com os sujeitos selecionados. Para a realização das entrevistas, filmadas logo após o pós-teste, foi utilizada uma técnica chamada de “think aloud” (SCHERR, 2008; STEPHENS & CLEMENT, 2010). Esta técnica utiliza um método de coleta de dados em que, basicamente, o entrevistador e o entrevistado mantenham constante diálogo a respeito

¹ disponibilizado gratuitamente em <http://http://modellus.fct.unl.pt/>

do que o entrevistado está pensando durante a execução de uma tarefa. As entrevistas foram gravadas com posterior transcrição e análise das mesmas.

O experimento foi realizado em três etapas por cada estudante:

ETAPA 1 - Na primeira etapa um pré-teste de resolução de problemas foi realizado livremente, antes de qualquer contato com o software, pelos alunos em base dos seus próprios conceitos, individualmente. Situações-problemas foram propostas que envolviam ou a aplicação de conceitos de conservação de energia e momento linear (experimento 1) ou conceitos de dualidade onda-partícula em mecânica quântica (experimento 2).

ETAPA 2 – Nesta etapa instrucional, os estudantes foram instruídos de como utilizar os softwares. Para o experimento 1, iniciou-se com a instrução do software Modellus 4.01 e, posteriormente, os alunos utilizaram-no para elaboração dos problemas em duplas e trios (Figura 1). Já para o experimento 2, iniciou-se com uma exposição inicial sobre ondas clássicas e partículas clássicas, contextualizando a discussão sobre a natureza da matéria em nível microscópico como motivação geral (4h/aula). Nesta exposição, é destacada as propriedades estudadas sobre partículas (massa, energia, localização definida, trajetória bem definida) em cursos tradicionais de física clássica e propriedades de ondas (energia, deslocalização, difração e interferência como o resultado de superposição construtiva e destrutiva de ondas), que em geral não são estudadas previamente pelos estudantes. Durante o segundo encontro, são utilizados os laboratórios virtuais (4h/aula). Estes consistem no laboratório virtual “Mach-Zender” (Albert Huber, 2004) e no “Experimento de interferência para corpúsculos clássicos, ondas clássicas e objetos quânticos(elétrons)”. Estes laboratórios virtuais estão ilustrados na figura 2.

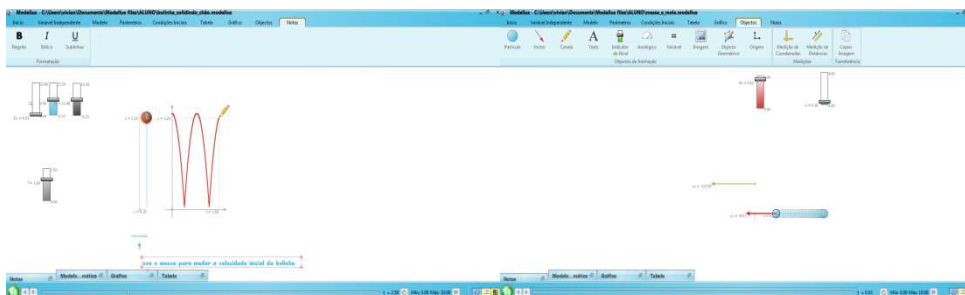


Figura 1 – Simulações de Mecânica Clássica utilizadas no experimento 1.

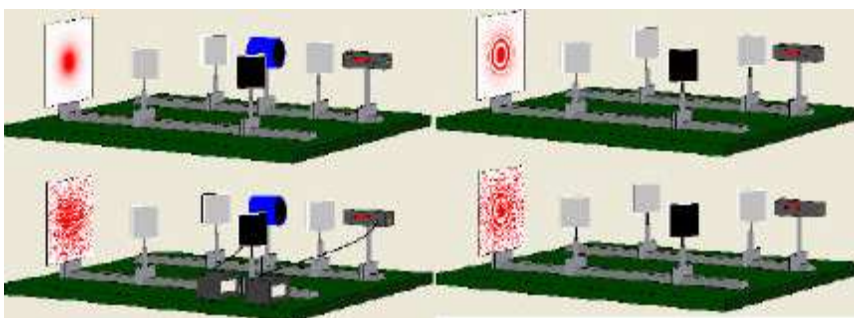


Figura 2 – Experimento virtual “*Quantum Eraser*”. Na parte superior, à esquerda é mostrado o resultado para quando se emite “laser” na presença de um detector (cilindro). À direita é mostrado o resultado da simulação para quando este detector é retirado. Na parte inferior, à esquerda, é mostrado o resultado para quando se emitem fótons individuais, na presença do detector. À direita, sem o detector.

ETAPA 3 –Após o uso do software foi aplicado o pós-teste, onde sem o auxílio do programa, os estudantes efetuaram atividades sobre os conceitos envolvidos, para ambos os experimentos.

ETAPA 4 – Entrevista após as atividades. Nesta entrevista, solicitamos a cada estudante entrevistado que comparasse sua resposta do pré e pós-teste e explicasse a diferença entre estas respostas. Estas entrevistas foram filmadas, e tanto seu discurso como a produção gestual foi transcrita e codificada conforme detalhada por Stephens & Clement (2010), também para ambos os experimentos.

METODOLOGIA DE ANÁLISE GESTUAL

Teoricamente, a metodologia proposta por Stephens e Clement (2010) é sustentada por alguns fatos da literatura de diversas áreas que, resumidamente dá ao pesquisador uma visão pelo menos parcial das imagens mentais geradas pelos sujeitos:

- O tipo e a quantidade dos gestos parecem estar associados com a natureza da representação interna do sujeito (Lozano e Tversky, 2005; Iverson e Goldin-Meadow, 1997, 1998).
- A Produção de gestos representacionais, em particular, parece estar associada com processos visuoespaciais e outros processos imagísticos (Iverson e Goldin-Meadow, 1997; Krauss, 1998; Hostetter e Alibali, 2004; Alibali, 2005; Feyereisen e Havard, 1999).
- Um corpo robusto de evidências levantadas por meio de pesquisa experimental em cognição leva pesquisadores a sugerir que gestos representacionais não são meramente a tradução dos significados verbais dos sujeitos, mas pode revelar pensamento não-verbal. Uma hipótese alternativa é que gestos é uma tradução física de palavras, mas um número de estudos jogaram dúvida na plausibilidade desta hipótese (Iverson;Goldin-Meadow, 1997; Roth, 2000).
- Gestos descritivos parecem ser uma forma natural de expressar os resultados de animações mentais e transmite informação sobre a animação não revelada no discurso do sujeito (McNeill, 1992; Hegarty,Mayer, Kriz, 2005).

Assim, utilizamos essa metodologia de análise para ter acesso ao que poderíamos chamar de “discurso não-verbal imagístico” dos estudantes durante a resolução de problemas de física. Vale a pena ressaltar que, conforme pode ser visto nas referencias acima descritas, existe na comunidade de psicologia cognitiva uma tendência atual a vincular a produção de imagens mentais e a gênese conceitual, tendência que pode representar uma janela de pesquisa à comunidade de ensino de ciências e matemática.

Cada representação captada em vídeo é apenas considerada uma representação descritiva se, em algum momento, o estudante denomina explicitamente ou implicitamente esta representação da forma que denominamos neste trabalho.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Experimento I



Para melhor compreensão dos resultados do experimento 1, organizamos a análise gestual na Tabela 1, que tem fotos das filmagens que representam dois principais gestos descritivos produzidos pelos estudantes durante a entrevista realizada após a tomada de

dados escritos, dentre outros. A primeira coluna apresenta uma imagem – se for o caso de um gesto que representa uma imagem estática (como uma bola) como pode ser visto na primeira coluna da Tabela 1 – ou de uma seqüência de figuras, indicando uma imagem mental animada, como pode ser visto já a partir da segunda linha na Tabela 1. Quando o gesto descritivo produzido significar algo que está diretamente associado à alguma representação utilizada na simulação, um retrato (ou sequencia de retratos) da simulação também foi adicionada. A coluna central indica quais estudantes utilizaram este gesto descritivo durante a entrevista. Finalmente, a terceira coluna apresenta a nossa interpretação do significado do gesto descritivo utilizado.

Gestos Estáticos

Na primeira linha da Tabela 1, tem-se o gesto descritivo da representação interna estática de uma bola, utilizada e denominadas pelos estudante RR e RG. Esta representação interna tem um correspondente na simulação, como também pode ser visto na Tabela 1. RR indica que esta representação é de uma bola, enquanto RG indica utiliza este gesto descritivo ora como bola, ora como da energia em uma bola. Durante o discurso de RR e RG, eles utilizam este gesto descritivo várias vezes: “... isso tudo vai fazer com que perca a energia na **bola**, e vá se perdendo, conforme ela vai diminuindo seu movimento.” (RG). Assim, o estudante implicitamente denomina esta representação estática.

Tabela 1 – Gestos descritivos (e representação correspondente da simulação) identificados durante a entrevista. Cada gesto apresentado na coluna à esquerda é produzido pelos estudantes correspondentes da coluna central. Na coluna à direita, a interpretação do significado do gesto.

GESTO (IMAGEM)	ESTUDANTE	SIGNIFICADO
 $\gamma = 2,40$	RR e RG	Bola (RR) / Bola com centro de energia (RG)
	JO, CL, RR, RG e KT	Variação de Energias

Gestos Animados com significado Conceitual

Na segunda linha da tabela 1 temos o gesto animado utilizado pelos estudantes. O mais importante, segundo nosso ponto de vista, é o que representa o caráter dinâmico da energia mecânica em função do tempo. Os estudantes indicam, com este gesto animado, a alternância entre energia cinética e potencial. Este gesto é apresentado pelos estudantes após o uso da simulação computacional, que foi construída especificamente para o ensino de Energia Mecânica. Este gesto é reproduzido por todos os estudantes entrevistados, e também é reproduzido como representação externa pelo estudante JO

no pós-teste. Os demais estudantes não utilizam esta representação externa possivelmente por apenas terem internalizado a representação, mas não tendo a necessidade de indicar externamente seu uso interno. Este fato é uma forte indicação da utilidade da análise gestual, que indica o uso intensivo de representações internas que nem sempre são externalizadas. O uso deste gesto é inerente à representação interna e nem sempre é indicada explicitamente no discurso, como pode-se ver abaixo:

Estudante RG: *“...Perdendo energia potencial, cinética, inverte uma, inverte outra [Gesto animado para alternância de energia], e vai se perdendo a energia total. Mas as energias cinética e potencial, elas vão se oscilando e tu não perde nenhuma delas.”*

Este gesto animado, que foi reproduzido universalmente pelos estudantes durante a entrevista, indica a internalização da mesma animação que a simulação utiliza (ver Tabela 1). Esta animação, uma vez internalizada, auxiliou cognitivamente os estudantes a compreenderem o conceito de energia mecânica como soma integral das energias cinéticas e potenciais durante o movimento de objetos em um campo gravitacional. Interpretamos esta internalização, de acordo com o referencial teórico de Campos Conceituais, ocorrendo pela internalização da representação de energia como barrinhas, e em seguida de invariantes operatórios específicos para este conceito, associado a esta representação, como a oscilações das alturas das barrinhas tal como ilustrada nos gestos descritivos animados. Isto por si indica um crescimento cognitivo acompanhado de um crescimento conceitual para o conceito de energia segundo a teoria de Campos Conceituais. O estudante também se sente mais a vontade para aplicar esta representação e invariantes (como visto no caso do estudante CL, que aplica para o exemplo de uma cama elástica, não trabalhado durante a atividade de simulação) para outras situações-problema. Possivelmente isto indica uma liberação de carga cognitiva, pois a mente opera esta representação de forma tácita, pelo fato de que raramente isto é mencionado explicitamente no discurso verbal. Esta carga cognitiva liberada provavelmente permite o estudante estabelecer relações mais significativas para este conceito.

Experimento II

Durante o as entrevistas para o experimento dois, apenas dois gestos foram universais: o da representação de uma bolinha (corpúsculo), um gesto estático; e o de uma ondulação com uma das mãos, representando uma onda. Todas as explicações dos estudantes foram acompanhadas destes gestos, que de certa forma existiam nas simulações, não para representar um elétron, mas para representar os corpúsculos disparados no experimento com partículas clássicas ou de ondas de distribuição de probabilidades nos experimentos com ondas clássicas. É interessante observar que explicações do experimento virtual tecidas pelos estudantes seguem uma lógica própria, utilizando representações advindas da simulação, mas presentes no cotidiano. Aparentemente, os gestos detectados refletem a presença de representações imagísticas que não agem como representações cientificamente aceitas, mas tem um poder de síntese explanatória própria.

Estudante I : *“É que isso seria **como uma bola dentro da água** (gesto de onda), ele é um só mas ele tá gerando energia, a energia dele vai em onda... Não ele, mas a energia que ele carrega. Porque seria como o homem na água, na hora que ele se move, move tudo o que tá na volta dele, e se tu mexer com tudo que tá ao redor, forma essa onda.”*

Estudante II: “Ah, aí eu diria que sim. Porque o elétron pode se **comportar como onda (gesto de onda) e partícula (gesto de corpúsculo)**”; “que quando tem a lampada acesa, eu consigo ver a interferência, quando não tem, eu não consigo ver e significa que se tem interferência, o elétron ta se comportando **como onda.**”

Estudante III: “**eu imaginei como se ela (elétron) tivesse sendo levada por uma onda (gesto de onda), tipo, ocorre a interferencia quando vai para um lado e para o outro**”

Entrevistador: **entao tu imagina uma partícula como se tivesse sendo levada por uma onda?**

Estudante: **isso**

Diferentemente do que ocorre no experimento I, o laboratório virtual não trouxe representações científicas utilizadas para explicar o fenômeno quântico, visto que não representa uma “interpretação” do fenômeno, com representações científicas, apenas o registro experimental da coleta de dados virtuais. Assim, os estudantes tecem explicações que utilizam representações encontradas no experimento virtual (de corpúsculo ou de onda) para tentar explicar o fenômeno de dualidade onda-partícula. Apenas um estudante (III) utiliza representações de probabilidade para indicar a interferência quântica. Estas representações de probabilidade foram utilizadas exclusivamente pelo professor durante o processo instrucional introdutório. Sendo assim, aparentemente é mais comum que os estudantes internalizem representações presentes nas simulações do que aquelas utilizadas pelo professor em sala de aula, pelo menos para o tópico de mecânica quântica.

CONCLUSÃO

Qual o valor de um software didático como uma simulação conceitual computacional? A nosso ver, pode-se expor este valor como uma hipótese de trabalho de como simulações computacionais enriquecem o aprendizado, em especial as simulações conceituais segundo o referencial teórico de Campos Conceituais: Estes softwares dão ao estudante acesso a representações que foram historicamente construídas, discutidas, e por assim dizer re-construídas durante uma etapa de solução de problemas históricos por uma determinada ciência. Estas representações indicam interpretações do fenômeno estudado. No nosso caso, a física. Uma vez implementadas estas representações (em geral gráficas) em um software e sendo executadas em um computador, capaz de fazer operações lógico-matemáticas e de tomar decisões (por loops if-then-else, do-while, etc), estas representações tornam-se animadas, e tanto podem ser executadas autonomamente pelo software, como por demanda e comando do usuário, da forma particular que o usuário deseje, e ambas estas formas são internalizadas e posteriormente utilizadas pelo usuário (neste caso estudante) para resolução de situações-problemas, como observado pela internalização das representações de conservação de energia e da velocidade (Tabela 1). A programação destas representações computacionais é realizada de acordo com regras que, em bons softwares, são cientificamente consistentes.

Agora, com a metodologia proposta por Stephens e Clement (2010), podemos identificar os gestos que são produzidos após uso de ferramentas computacionais, que indicam a internalização de animações (gestos animados) e representações estáticas (gestos estáticos), que auxiliam e potencializam o aprendizado de conceitos científicos.

Em particular, foram identificados gestos específicos, acima descritos, que indicam uma espécie de linguagem não-verbal das imagens geradas pela estudante. Em especial, existem eventos onde os estudantes geram seqüências de gestos que indicam operações mentais específicas com o objetivo de resolver uma determinada situação-problema. Estes gestos podem ser lidos como uma seqüência de signos indicando a utilização de imagens mentais estáticas e animadas que auxiliam o estudante a resolver uma situação-problema, mesmo que o discurso verbal do estudante não se refira diretamente a esta visualização, pois sua explanação utiliza o processo mental imagístico, mas não necessariamente faz menção a este processo. Se fossemos fazer uma analogia lingüística, é como se ocorressem simultaneamente, dois discursos durante a entrevista, um verbal e outro não-verbal, que dá suporte ao primeiro. O papel da simulação é o de fornecer representações (signos) que fortalecem e enriquecem o discurso não-verbal, potencializando o aprendizado conceitual que se torna evidente no discurso verbal. Estas representações animadas fornecidas pelo uso da simulação computacional são internalizadas sob a forma de representações e invariantes operatórios associados ao conceito de energia, e seu uso livre é aplicado para resolver problemas. Sua capacidade de aplicar o conceito de conservação de energia é melhor após o uso de software, pois os estudantes apresentam um maior domínio explanatório de situações-problemas, conforme foi observado na entrevista. Uma das perguntas que fizemos é se as representações utilizadas pelo professor são mais facilmente internalizadas que aquelas utilizadas durante a simulação. A resposta, em nossos experimentos, é que as representações científicas utilizadas na simulação são mais facilmente assimiladas, e, quando assimiladas, são reproduzidas como gestos descritivos animados. Contudo nossa análise foca na análise gestual de gestos animados, e assim, é importante criticar metodologicamente nossa capacidade de responder esta pergunta de forma isenta.

Em suma, a nosso ver, este é uma das grandes perspectivas oferecidas pelo uso de TI no aprendizado de conceitos científicos, a capacidade de rapidamente oferecer ao estudante a capacidade de assimilar representações e invariantes operatórios que são úteis para o aprendizado de conceitos científicos. E, como discutido no parágrafo anterior, estas representações e invariantes internalizados realizam “simulações mentais” (termo cunhado por Clement) que ampliam a capacidade cognitiva do estudante, liberando memória de trabalho e liberando carga cognitiva, permitindo domínio progressivo de situações-problemas e crescimento conceitual, como por ser lido pela Teoria de Campos Conceituais. Recomendamos, portanto, a investigação desta hipótese de trabalho afim de que se torne uma contribuição mais pertinente aos pesquisadores da área de Ensino de Ciências e matemática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIBALI, M. W. Gesture in spatial cognition: Expressing, communicating, and thinking about spatial information, **Spat.Cogn. Comput.** v. 5, p. 307, 2005.
- DE JONG, T.; MARTIN, E.; ZAMARRO, J.M.; ESQUEMBRE, F.; SWAAK, J.; VAN JOOLINGEN, W.R. The integration of computer simulation and learning support: An example from the physics domain of collisions. **Journal of Research in Science Teaching**, v.36, n.5, p. 597-615, 1999.
- DOERR, H.M. Experiment, Simulation and Analysis: An integrated Instructional Approach to the Concept of Force. **International Journal of Science Education**, v.19, n.3, p. 265-282, 1997.
- FEYEREISEN, P. AND I. HAVARD, I. Mental imagery and production of hand gestures while speaking in younger and older adults, **J. Nonverbal Behav.** v. 23, p. 153, 1999.

- GABEL, D. The complexity of chemistry and implications for teaching. **Boston**, p. 233-248, 1998.
- HEGARTY, M.; MAYER, S.; KRIZ, S.; KEEHNER, M. The role of gestures in mental animation, **Spat. Cogn. Comput.** v. 5, p. 333, 2005.
- HOSTETTER, A. B.; ALIBALI, M. W. On the tip of the mind: Gesture as a key to conceptualization. In K. Forbus, D. Gentner & T. Regier (Eds.), **Proceedings of the Twenty-Sixth Annual Conference of the Cognitive Science Society**, pp. 589-594. Mahwah, NJ: Erlbaum, 2004.
- IVERSON, J. M.; GOLDIN-MEADOW, S. What's communication got to do with it? Gesture in children blind from birth, **Dev. Psychol.** v. 33, p. 453, 1997.
- IVERSON, J. M.; GOLDIN-MEADOW, S. Why people gesture when they speak, **Nature** v. 396, p. 228, 1998.
- JOHNSTONE, A.H. The development of Chemistry Teaching. **J. Chem. Educ.**, v.70, n.9, p. 701-705, 1993.
- LOZANO, S.; TVERSKY, B. **Proceedings of the Twenty-Seventh Annual Conference of the Cognitive Science Society**, BARA B.; BUCCIARELLI, M. (Eds.) Stresa, Italy: Erlbaum, 2005.
- LYNN, S.; CLEMENT, J. J. Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 6, n° 020122, 2010.
- KOZMA, R.B.; RUSSELL, J. Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. **Journal of Research in Science Teaching**, v.34, n.9, p. 949-968, 1997.
- KRAUSS, R. M. Why do we gesture when we speak? **Curr. Dir. Psychol. Sci.** v. 7, p. 54, 1998.
- MCNEILL, D. **Hand and Mind: What Gestures Reveal About Thought**. Chicago: University of Chicago Press, 1992.
- NOH, T.; SCHARMANN, L.C. Instructional influence of a molecular-level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem- solving ability. **Journal of Research in Science Teaching**, v.34, n.2, p. 199-217, 1997.
- REIS, M. A. F.; SERRANO, A. Uma análise do uso de simulações computacionais no ensino de colisões. **Anais do IX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Jaboticatubas: Sociedade Brasileira de Física, 2004. Disponível em < <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/sys/resumos/T0027-2.pdf>>
- ROTH, W.-M. From gesture to scientific language, **J. Pragmat.** v. 32, p. 1683, 2000.
- SCHERR, R. Gesture analysis for physics education researchers. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, v. 4, n° 010101, 2008.
- STEPHENS, A. LYNN; CLEMENT, JOHN J. Documenting the use of expert scientific reasoning processes by high school physics students. **Physical Review Special Topics - Physics Education Research**, 2010.
- SWELLER, J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. **Cognitive Science**, v. 12, p. 257-285, 1988.
- VERGNAUD, G. Quelques orientations théoriques et methodologiques dès recherches françaises en didactique des mathématiques. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v.2, n.2, p. 215-232, 1981.
- _____. Teoria dos campos conceituais. In: NASSER, L. (Ed.). **Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática**. Rio de Janeiro, p. 1-26, 1993.
- WU, H.-K.; KRAJCIK, J.S.; SOLOWAY, E. Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' Use of a Visualization Tool in the Classroom. **Journal of Research in Science Teaching**, v.38, n.7, p. 821-842, 2001.